4Ш

УДК 004.523

В.Ю. Шелепов, А.В. Жук
Институт проблем искусственного интеллекта МОН Украины и НАН Украины
г. Донецк, Украина
shel@iai.dn.ua, juk@iai.dn.ua

Автоматическое определение общих ритмических характеристик последовательности музыкальных длительностей с использованием принципа минимизации количества синкоп

В статье рассматривается задача определения размера и величины затакта музыкального произведения при известной последовательности его длительностей. Предлагается подход к решению данной задачи, основанный на минимизации количества синкоп и работе с ритмически одинаковыми фрагментами этой последовательности.

Введение

На самом деле вместо целого произведения можно рассматривать его фрагмент. Одной из задач, которые решает человек в процессе нотной записи звучащего музыкального фрагмента, является определение размера и того, с какой доли первого такта начинается звучание. Если первый такт начинается с паузы или не полон и содержит, скажем, 3 восьмых, будем для краткости говорить о затакте в 3 восьмых (в музыке затакт означает обязательно не полный первый такт и влечет за собой соответствующую неполноту последнего такта произведения). Итак, под общими ритмическими характеристиками мы будем понимать размер и затакт.

Методы определения общих ритмических характеристик последовательности длительностей можно разделить на две группы [1]:

1) методы последовательного анализа;

2) методы апостериорного анализа.

Методы последовательного анализа имитируют процессы восприятия ритмических характеристик музыкального произведения человеком и предполагают принятие и корректировку решения о величине размера и затакта по мере наполнения анализируемой последовательности длительностей. Таким образом, методы данной группы последовательно уточняют полученное решение, уменьшая список кандидатов на распознавание.

Методы апостериорного анализа предполагают, что на момент распознавания последовательность длительностей уже приобрела окончательный вид и не будет модифицироваться в дальнейшем. Как правило, эти методы обладают более высокой производительностью и точностью получаемых результатов, чем методы последовательного анализа. К недостаткам методов апостериорного анализа относят, в первую очередь, отличие используемого подхода от процессов, происходящих в мозгу челове-

ка. Однако, учитывая тот факт, что до сих пор окончательного ответа на вопрос о том, как же человек определяет общие ритмические характеристики музыкального произведения, нет, методы апостериорного распознавания по-прежнему остаются актуальными.

Одной из наиболее эффективных методик, построенных на основе апостериорного анализа, является методика ритмических шаблонов [1]. Этот подход заключается в организации базы данных всевозможных сочетаний длительностей (ритмических шаблонов) в пределах такта заданного размера для всех размеров, входящих в алфавит классов распознавателя. Для оптимизации результатов и сокращения объёма базы ритмические шаблоны отбираются в соответствии с набором правил, определяемых в основном жанрами распознаваемой музыки.

Выбор кандидатов на распознавание осуществляется в рамках этой методики следующим образом:

1) исходная последовательность длительностей разбивается на подпоследовательности так, чтобы суммарная временная продолжительность каждой из подпоследовательностей соответствовала продолжительности одного такта произвольного размера из алфавита классов распознавателя;

2) для каждой подпоследовательности определяется список размеров, в которых возможно её появление;

3) в качестве решения выбирается наиболее значимый размер;

4) шаги 1) – 3) повторяются для всех размеров из алфавита классов распознавателя;

5) среди решений, полученных на всех итерациях, выбираются наиболее значимые.

Значимость решения в рамках данной методики можно определить, к примеру, как количество сработавших ритмических шаблонов для рассматриваемого кандидата на распознавание.

Преимуществом этой методики, в значительной степени определившим её распространённость, является возможность применения одного и того же подхода для определения (идентификации) стиля, жанра, композитора, исполнителя и даже собственно самого музыкального произведения. Более того, простое расширение основной таблицы базы данных за счёт полей, описывающих указанные дополнительные характеристики музыкального произведения, приводит к тому, что одну и ту же базу данных можно применять для решения различных задач распознавания и идентификации. Всё это позволяет широко использовать методику ритмических шаблонов для создания приложений с архитектурой типа «клиент» – «сервер», где база данных хранится на серверной машине и многочисленные клиенты выполняют обращения к ней через Интернет. Однако несмотря на то, что использование приложений с распределённой архитектурой на данный момент становится всё более распространённым, часто по-прежнему возникает необходимость в «изолированных» приложениях. Для этого случая методика ритмических шаблонов совершенно не подходит как раз из-за размера базы данных. Поэтому нужно так модифицировать рассматриваемую методику, чтобы при сохранении точности определения общих ритмических характеристик последовательности длительностей размер используемой базы данных существенно сократился.

Предлагаемая методика определения ритмических характеристик музыкального произведения предусматривает получение величины размера и затакта анализируемого произведения по последовательности длительностей. Причём чем больше длина такой последовательности, тем точнее будут результаты, получаемые с помощью данной методики.
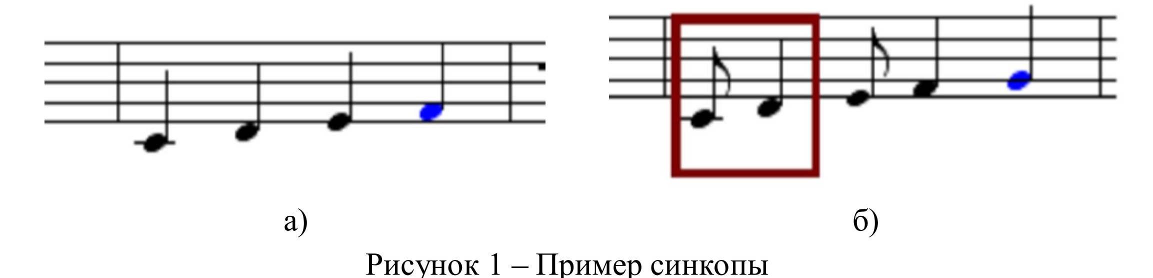
В [2] задача распознавания длительностей как ритмических единиц музыкального произведения была формализована с позиций теории распознавания образов. Было отмечено, что как для европейской классической музыки, так и для русской и украинской классики одним из показателей правильности результатов определения величин размера и затакта может служить количество синкоп, порождаемых ими в анализируемой последовательности длительностей.

В музыке под синкопой понимают относительно небольшое локальное смещение длительности с её «естественной» позиции. Наиболее общим способом описания синкоп в соответствии с [2] является использование таблиц вида табл. 1 для каждого из рассматриваемых размеров такта. Это таблица естественных положений длительностей. В таких таблицах ненулевые значения в ячейках соответствуют позициям в такте (столбец), на которых может находиться длительность (строка), не порождая при этом синкопу. В табл. 1 приводятся данные для такта при размере 2/4, причём в качестве наименьшей длительности, относительно которой и производится определение позиции внутри такта, принята шестнадцатая.

Таблица 1 – Таблица естественных положений некоторых длительностей для размера 2/4

Половинка	1							
Четверть	1				1			
Восьмая	1		1		1		1	
Шестнадцатая	1	1	1	1	1	1	1	1

Эта таблица показывает, что при размере 2/4 естественные положения существуют для 8 шестнадцатых, следующих друг за другом. Естественные положения существуют для 4 восьмых, начала которых приходятся на начала 1-й, 3-й и т.д. шестнадцатых. Естественные положения существуют для 2 четвертей, начала которых приходятся на 1-ю и 5-ю шестнадцатые. Ясно, как определить для данного размера естественные положения для длительностей с точкой и триольных длительностей. Любое отклонение длительности от естественного положения порождает синкопу. Пример такта, не содержащего и содержащего синкопу, приведен на рис. 1 а) и б) соответственно (размер 4/4). Сочетание длительностей, порождающее синкопу, обведено на рис. 1б) прямоугольником.



а) б)

Рисунок 1 – Пример синкопы

Учитывая сказанное, задачу определения ритмических характеристик музыкального произведения можно представить как задачу минимизации количества синкоп. В таком случае в качестве наилучшего решения необходимо выбирать те значения размера и затакта, при которых в анализируемой последовательности появляется наименьшее количество нарушений естественного положения длительностей.

Кроме того, в основу предлагаемой методики определения ритмических характеристик положено следующее наблюдение: в большинстве проанализированных музыкальных произведений в том или ином виде присутствуют ритмически повторяющиеся фрагменты. Одно из ключевых свойств таких фрагментов заключается в том, что они, как правило, начинаются с одной и той же ритмической доли внутри такта.

Таким образом, первым шагом в определении ритмических характеристик будет поиск всех ритмически идентичных фрагментов в анализируемой последовательности длительностей. Чем короче длина фрагмента, тем чаще его вхождения можно будет обнаружить, причём фрагменты длиной в 2 – 3 длительности вообще можно не подвергать анализу – настолько часто и бессистемно (с точки зрения задачи определения ритмических характеристик) их вхождения, как правило, встречаются. Наиболее разумным для получения достоверных результатов представляется использование в дальнейших вычислениях ритмически повторяющихся фрагментов максимальной длины.

В наиболее общем виде предлагаемую методику определения ритмических характеристик музыкального произведения можно представить так:

1. Во входной последовательности длительностей необходимо найти наиболее длинные непересекающиеся ритмически одинаковые подпоследовательности.

2. Данные подпоследовательности необходимо проанализировать применительно к предполагаемым величинам размера на предмет начала с одинаковой ритмической доли внутри тактов, содержащих начала подпоследовательностей.

3. По результатам анализа необходимо выделить только те величины размера и конфигурации затакта, возможные в рамках исходной последовательности длительностей, которые удовлетворяют предъявленным к ним требованиям (п. 2). Эти наборы и составят множество кандидатов на распознавание.

4. Для элементов полученного в п. 3 множества кандидатов на распознавание необходимо вычислить количество синкоп применительно к анализируемой последовательности длительностей.

5. В качестве результата необходимо отобрать элементы множества кандидатов на распознавание с наименьшим количеством найденных синкоп.

Схематически предложенная методика определения общих ритмических характеристик последовательности длительностей изображена на рис. 2.

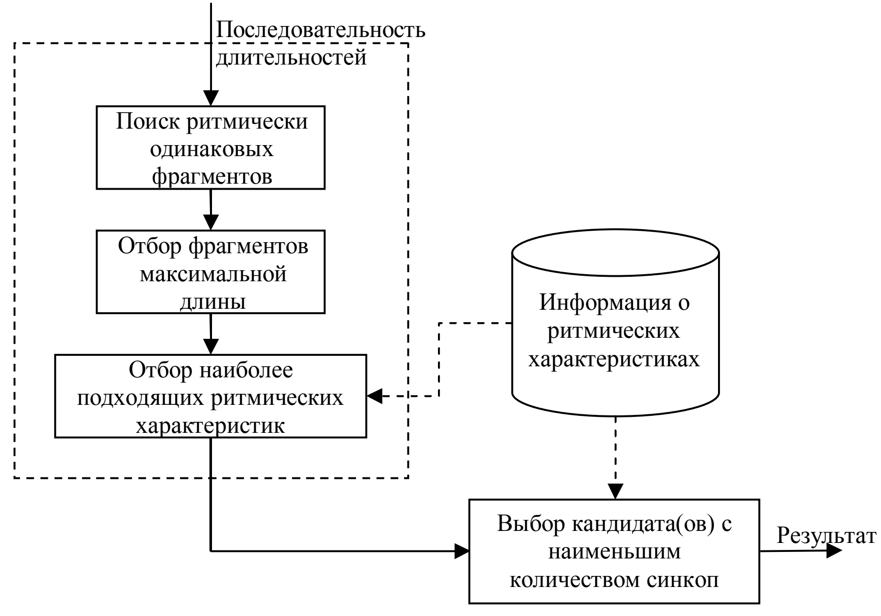


Рисунок 2 – Последовательность действий при определении общих ритмических характеристик последовательности длительностей

Организовать описанный выше поиск подпоследовательности длительностей максимальной длины можно, воспользовавшись существующими наработками [3], связанными с быстрым поиском подстроки в строке символов. Последовательность длительностей можно представить в виде строки символов, где каждый символ кодирует соответствующий класс длительностей. Для основных классов длительностей можно ввести мнемонически оправданные символьные обозначения. Обозначения для классов длительностей с точкой, а также для классов триольных длительностей можно выбрать, к примеру, как символы, расположенные на соседних клавишах компьютерной клавиатуры относительно символа, соответствующего основному классу длительностей. Выбранные таким образом обозначения для классов длительностей приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Символьные обозначения классов длительностей

	Основные длительности	Длительности с точкой	Триольные длительности
Целая	Ц	У	Й
Половинная	П	Р	Е
Четверть	Ч	С	Я
Восьмая	В	А	Ы
Шестнадцатая	Ш	Щ	Г
Тридцать вторая	Т	Ь	И

В качестве примера рассмотрим фрагмент, представленный на рис. 3 («Думка Ионтека» из оперы С. Манюшко «Галька»).
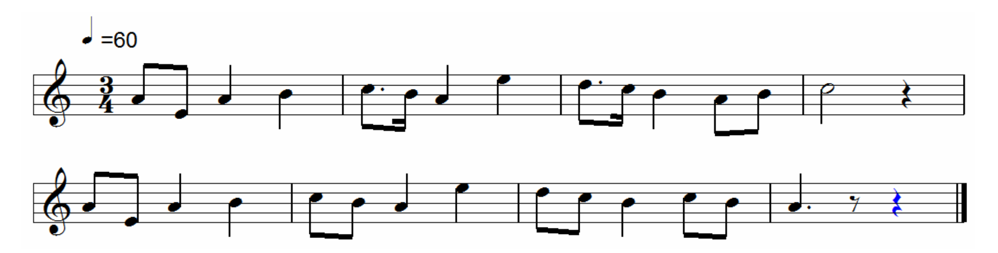


Рисунок 3 – Пример нотного текста

Соответствующая последовательность длительностей может быть записана с помощью предложенной выше системы обозначений как «ВВЧЧАШЧЧАШЧВВПЧВВ ЧЧВВЧЧВВЧВВСС». При поиске максимальной ритмически повторяющейся подпоследовательности необходимо:

1. Установить маркер начала поиска на первый символ строки.
2. Установить начальную длину искомой подстроки.
3. Если такая подстрока не была найдена ранее,
   то выполнить поиск всех непересекающихся вхождений искомой подстроки от маркера начала поиска,
   иначе – переход на 5.
4. Если количество вхождений больше 1, то занести результаты в множество найденных повторяющихся ритмически однородных фрагментов.
5. Увеличить длину искомой подстроки на 1.
7. Если длина искомой подстроки меньше, чем половина расстояния от маркера начала поиска до конца исходной строки, то перейти на 3.
8. Увеличить маркер начала поиска на 1.
9. Если расстояние от маркера начала поиска до конца исходной строки больше 3, то переход на 2.

10. Конец алгоритма.

Получив ритмически одинаковые фрагменты максимальной длины, можно в соответствии с изложенными выше соображениями определить общие ритмические характеристики обрабатываемого фрагмента музыкального произведения.

На рис. 4 приведен результат работы программы, реализующей описанный подход для рассматриваемого примера.

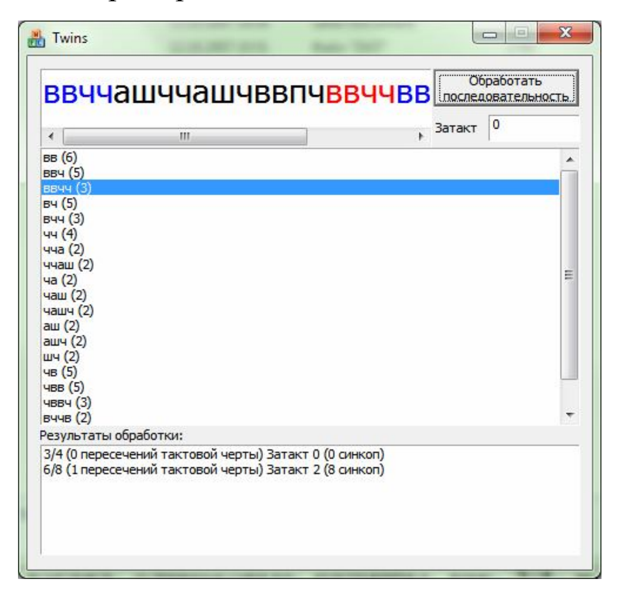


Рисунок 4 – Результаты обработки последовательности длительностей

Программа, окно которой приведено на рис. 4, рассчитана на распознавание 4 размеров: 2/4, 4/4, 3/4 и 6/8. Как видно на рис. 4, в список кандидатов на распознавание попали только размеры 3/4 и 6/8, поскольку для 2/4 и 4/4 не было выполнено необходимое условие для найденных ритмически одинаковых фрагментов.

Необходимо сделать несколько замечаний относительно возможностей применения данной методики, а также изложить некоторые соображения по возможному её улучшению:

1. Введённое определение синкопы позволяет в большинстве случаев разделять такие, на первый взгляд одинаковые, размеры, как 3/4 и 6/8 (в данном случае – трёхдольный и двухдольный). В то же время разделить 2/4 и 4/8 (оба размера – двухдольные) при помощи данной методики в большинстве случаев не представляется возможным.

2. Поиск синкоп и отбор кандидатов на распознавание призваны, в первую очередь сократить список известных величин размера и конфигураций затакта, что позволит сократить вычислительную сложность алгоритмов, реализующих данную методику.

3. В качестве секвенций представляется разумным использовать только повторяющиеся подпоследовательности длительностей, ритмическая длина которых как минимум превышает половину такта в рассматриваемой величине размера. Выполнение данного условия делает повторяющиеся подпоследовательности длительностей достоверными применительно к анализируемой величине размера.

4. Ещё большему сокращению списка кандидатов на распознавание будет способствовать использование в качестве секвенций не только самой длинной повторяющейся подпоследовательности длительностей, но и непересекающихся с ней повторяющихся подпоследовательностей меньшей длины, всё ещё достоверных применительно к анализируемой величине размера.

5. Отсутствие достоверных применительно к анализируемой величине размера повторяющихся подпоследовательностей длительностей говорит о невозможности принятия на этапе просеивания решения о возможности или невозможности использования для исходной последовательности длительностей этой величины размера, что обязывает включать её во множество кандидатов на распознавание.

6. Исходными данными для данной методики могут служить последовательности длительностей, полученные в результате распознавания. Длительности в таких последовательностях могут содержать ошибки, что допускает возможность неточного совпадения подпоследовательностей, образующих синкопу. Кроме того, подобные неточности могут возникать и в случае внесения автором произведения или исполнителем некоторых ритмических украшений. Поэтому возможность неточного совпадения необходимо закладывать в любой алгоритм, реализующий данную методику.

Выводы

В статье рассмотрен наиболее распространенный подход к автоматическому определению общих ритмических характеристик музыкального произведения – метод ритмических шаблонов, выделены его основные преимущества и недостатки. Как альтернатива данному методу в статье предложен подход к решению данной задачи, использующий принцип минимизации количества синкоп и ориентированный на работу с ритмически однородными фрагментами обрабатываемой последовательности длительностей максимальной длины. Преимущества предложенного подхода заключаются в значительном сокращении размера используемой базы данных, что является существенным для приложений, предназначенных для работы в изолированных средах.

Литература

1. Tanguiane A.S. Time Determination by Recognizing Generative Rhythmic Patterns / A.S. Tanguiane // Musikometrika. – Bochum : Brockmeyer. – 1992. – № 4. – P. 83-99.
2. Шелепов В.Ю. Задача распознавания длительностей как ритмических единиц музыкального произведения / В.Ю. Шелепов, А.В. Жук // Искусственный интеллект. – 2008. – № 4. – С. 803-809.
3. Charras C. Exact string matching algorithms [Электронный ресурс] / C. Charras, T. Lecroq. – Режим доступа : http://www-igm.univ-mlv.fr/~lecroq/string/index.html

В.Ю. Шелєпов, О.В. Жук

Автоматичне визначення загальних ритмічних характеристик послідовності музичних тривалостей з використанням принципу мінімізації кількості синкоп

У статті розглянуто задачу визначення розміру і затакту музичного твору за відомої послідовності його тривалостей. Запропоновано підхід до розв’язання цієї задачі, заснований на мінімізації кількості синкоп і роботі з ритмічно однаковими фрагментами цієї послідовності.

V.Y. Shelepov, A.V. Zhuk

Overall Rhythmical Characteristics Automatic Determination for Musical Duration Sequences Using Syncope Quantity Minimum Principle

The article is devoted to the task of time signature and irregular bar size determination by known sequence of musical durations. The proposed approach to this task solution is based on the syncope quantity minimization and the processing of rhythmically identical fragments of that sequence.

Статья поступила в редакцию 10.07.2009.